



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 100 17 614 A 1**

51 Int. Cl. 7:  
**B 23 K 26/067**  
G 02 B 5/00

21 Aktenzeichen: 100 17 614.3  
22 Anmeldetag: 31. 3. 2000  
43 Offenlegungstag: 25. 10. 2001

DE 100 17 614 A 1

71 Anmelder:  
Laser-Laboratorium Göttingen eV, 37077  
Göttingen, DE  
74 Vertreter:  
PFENNING MEINIG & PARTNER GbR, 10707 Berlin

72 Erfinder:  
Rubahn, Katharina, Odense, DK; Ihlemann, Jürgen,  
37077 Göttingen, DE; Thielsch, Roland, 01189  
Dresden, DE

56 Entgegenhaltungen:  
DE 195 20 213 A1  
DE 37 85 292 T2  
US 59 48 289 A  
EP 09 59 051 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Herstellung einer dielektrischen Reflexionsmaske

57 Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer dielektrischen Reflexionsmaske beschrieben, die zur Abbildung von lateralen Strukturen mittels Laserstrahlen mit einer Betriebswellenlänge dient. Bei der Herstellung der Maske wird eine aus einem für Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge transparenten Substrat und einem Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge reflektierenden Schichtsystem bestehende Anordnung einer die Maskenstruktur aufweisenden Laserstrahlung von der Substratseite her ausgesetzt. Zwischen dem Substrat und dem Schichtsystem wird vor der Bestrahlung mit der die Maskenstruktur aufweisenden Laserstrahlung eine diese Strahlung absorbierende Schicht angeordnet. Hierdurch wird erreicht, daß die zur Ablation der Bereiche der Absorberschicht und des Schichtsystems, in denen die Maske transparent sein soll, eingesetzte Laserstrahlung eine Wellenlänge haben kann, die unabhängig von der Betriebswellenlänge ist. So kann beispielsweise die zur Ablation verwendete Wellenlänge gleich der Betriebswellenlänge sein.

DE 100 17 614 A 1

[0001] Hochenergie-Lasermasken werden hauptsächlich für die Materialbearbeitung mit Hochleistungslasern verwendet. Insbesondere die effiziente Anwendung von Excimerlasern, die energiereiche, ultraviolette Lichtimpulse emittieren, erfordert widerstandsfähige Masken. In der Regel wird die Laserstrahlung in bestimmten, begrenzten Beleuchtungsfeldern auf das zu bearbeitende Material gelenkt, da nur im Bereich dieser Beleuchtungsfelder die Bearbeitung des Materials durch Wechselwirkung mit der Laserstrahlung stattfinden soll. Für diese Begrenzung des Laserstrahls auf bestimmte Beleuchtungsfelder werden Masken in den Strahlengang zwischen der Laserquelle und dem zu bearbeitenden Werkstück gebracht. Die Maske weist Öffnungen auf, die durch die einfallende Laserstrahlung ausgeleuchtet werden und die üblicherweise durch eine zwischen Maske und Werkstück angeordnete Optik auf das Werkstück abgebildet werden. Diese Abbildung ist normalerweise verkleinert. Die durchgeführte Bearbeitung kann ein Abtragungsvorgang (Ablation) sein oder andere Oberflächenmodifikationen (Phasenumwandlung, Glättung, chemische Reaktion, Farbumschlag usw.) bewirken.

[0002] Neben freistehenden Schablonen, welche meist aus Metallblechen bestehen, werden als Masken strukturierte Metallfilme (z. B. Chrom oder Aluminium) auf Glassubstraten (Quarzglas bei Anwendung von UV-Lasern) oder strukturierte hochreflektierende (HR) dielektrische Schichtsysteme auf Glassubstraten verwendet. Die Metallfilm-Masken halten jedoch nur geringe Energiedichten aus und werden bei Bestrahlung mit ca. 100–200 mJ/cm<sup>2</sup> (je nach Wellenlänge) zerstört und sind daher für viele Hochleistungsprozesse nicht geeignet. Die HR-Schichtsysteme bestehen jeweils aus alternierenden Schichten mit hohem und niedrigem Brechungsindex, deren Dicken so dimensioniert sind, daß eine Interferenz der Reflexe an den Grenzflächen zu einer hohen Gesamtreflexion führen. Diese Masken halten Energiedichten von über 1 J/cm<sup>2</sup> stand und sind daher gut für Hochleistungsanwendungen geeignet. Ihre Nachteile liegen in der aufwendigen und kostspieligen Herstellung. Nach dem Stand der Technik werden solche Masken mit komplizierten lithographischen Methoden unter Einsatz von (reaktiven) Ionenätzprozessen oder mit sogenannten Lift-off-Techniken hergestellt. Einige der verwendeten Schichtmaterialien sind mit diesen Prozessen nicht oder nur schwer ätzbar.

[0003] Für die einfachere Herstellung dielektrischer Masken wurde die Anwendung der Laserablation auch für die Strukturierung der Maske vorgeschlagen (K. Rubahn, J. Ihlemann, F. Balzer, H.-G. Rubahn, UV-laserablation of ultrathin dielectric layers, Proc. SPIE, Vol. 3618, 357 (1999)). Das dielektrische Schichtsystem kann in definierten Bereichen durch Bestrahlung von einem Laser durch das Substrat hindurch mit einem Laserimpuls komplett abgetragen werden (Rückseitenablation). Dazu ist jedoch eine Laserwellenlänge erforderlich, bei der zumindest ein Schichtmaterial eine starke Absorption aufweist, also in der Regel eine deutlich kürzere Wellenlänge als die Betriebswellenlänge, bei der die Maske später eingesetzt wird. Eine effektive und widerstandsfähige dielektrische Maske erfordert nämlich eine möglichst geringe Absorption der Schichtmaterialien bei der Betriebswellenlänge. So läßt sich z. B. eine Maske für den Betrieb bei 248 nm, die aus Schichtpaaren aus Hafniumdioxid/Siliziumdioxid besteht, mit einem 193 nm-Laser herstellen, da Hafniumdioxid bei 248 nm kaum, bei 193 nm jedoch stark absorbiert. Dielektrische Masken für einen Betrieb bei 193 nm hingegen sind nach diesem Prinzip nicht herstellbar, da kürzere Wellenlängen als 193 nm für die

praktische Anwendung kaum zur Verfügung stehen.

[0004] Die Verwendung von 193 nm als Betriebswellenlänge ist jedoch für die präzise Bearbeitung vieler Materialien, die längerwellige Strahlung nur unzureichend absorbieren (z. B. Quarzglas), erforderlich. Hier werden meist hohe Energiedichten benötigt, so daß die Verfügbarkeit dielektrischer Masken mit einer Betriebswellenlänge von 193 nm von großer Bedeutung ist.

[0005] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung einer dielektrischen Reflexionsmaske für die Abbildung von lateralen Strukturen mittels Laserstrahlen mit einer Betriebswellenlänge, bei welchem eine aus einem für Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge transparenten Substrat und einem Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge reflektierenden Schichtsystem bestehende Anordnung einer die Maskenstruktur aufweisenden Laserstrahlung von der Substratseite her ausgesetzt wird, anzugeben, bei dem für die Strukturbildung Laserstrahlen eingesetzt werden können, deren Wellenlänge mit verfügbaren Lasereinrichtungen erhalten werden kann, beispielsweise Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge oder sogar noch größeren Wellenlängen.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale. Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0007] Dadurch, daß zwischen dem Substrat und dem Schichtsystem vor der Bestrahlung mit der die Maskenstruktur aufweisenden Laserstrahlung eine diese Strahlung absorbierende Schicht (Absorberschicht) angeordnet wird, kann eine strukturmäßige Ablation des Schichtsystems mit einer Laserstrahlung einer Wellenlänge, bei der die Schichten des Schichtsystems nur schwach oder nicht absorbierende sind, durchgeführt werden. Die beispielsweise durch Aufdampfen auf das Substrat vor dem Aufbringen des Schichtsystems hergestellte Absorberschicht beeinträchtigt die Funktion der Reflexionsmaske nicht, da bei einer Vorderseitenbestrahlung (Strahlung fällt auf das Schichtsystem) die Strahlung reflektiert wird und nicht bis zur Absorberschicht gelangt. Die Absorberschicht ist somit nur bei der Herstellung der Maske wirksam, bei der eine Rückseitenbestrahlung (Strahlung trifft auf das Substrat) stattfindet. Die Absorberschicht wird so gewählt, daß sie bei der Wellenlänge der die Maskenstruktur aufweisenden Laserstrahlung (Ablationslaserstrahlung) stark absorbiert und somit ablatierbar ist. Bei der Herstellung der Maske wird somit durch Rückseitenablation in den bestrahlten Bereichen die komplette Beschichtung aus Absorberschicht und maskenbildendem HR-Schichtsystem abgetragen. Der Herstellungsprozess ist damit unabhängig von den Materialien des HR-Schichtsystems und der Betriebswellenlänge. So können beispielsweise problemlos Masken mit einer Ablationslaserstrahlung von 193 nm hergestellt werden, die für eine Betriebswellenlänge von 193 nm vorgesehen sind. Bei Bestrahlung der Maske von der Vorderseite (regulärer Einsatz als Maske) wird die Strahlung direkt vom HR-Schichtsystem reflektiert und erreicht die Absorberschicht nicht, so daß eine hohe Zerstörschwelle gewährleistet ist.

[0008] Die Ablation kann auch bei anderen Wellenlängen (z. B. 248 nm) des UV-Bereichs durchgeführt werden.

[0009] Als Absorberschicht für 193 nm eignen sich z. B. Hafniumdioxid (HfO<sub>2</sub>) oder Tantalpentoxid (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Hierbei ist erforderlich, daß die Absorberschicht in den Durchlaßbereichen der Maske möglichst vollständig entfernt wird, da geringfügige Reste der Absorberschicht, die auf dem Substrat verbleiben, eine gegenüber einem unbeschichteten Substrat geringere Transmission bei einer Betriebswellenlänge 193 nm bewirken. Durch die Verwendung von SiO<sub>x</sub>(x

≠ 2) als Absorberschicht kann hier jedoch eine weitere Verbesserung der Maskentransmission in den ablatierten Bereichen erreicht werden.  $\text{SiO}_x$  mit  $x \neq 2$  absorbiert stark bei 193 nm, während  $\text{SiO}_2$  bei dieser Wellenlänge hochtransparent ist. Reste des verbleibenden  $\text{SiO}_x$  können durch weitere UV-Bestrahlung an Luft zu  $\text{SiO}_2$  oxidiert werden, so daß sie für eine Strahlung bei 193 nm durchlässig werden. Diese Bestrahlung kann in Form eines zusätzlichen Laserimpulses direkt in den Herstellungsprozess integriert werden.

[0010] Mit der Erfindung können somit dielektrische Masken wesentlich einfacher und kostengünstiger als mit Ätztechniken hergestellt werden. Weiterhin können gegenüber den Verfahren mit Laserablation dielektrische Masken gemäß dem Verfahren nach der Erfindung unabhängig von den Materialien des Schichtsystems und von der Betriebswellenlänge hergestellt werden. Dies ermöglicht, daß die Maske mit derselben Wellenlänge hergestellt wird, für die sie später im Betrieb verwendet wird. Die Maske kann somit mit der Laseranlage hergestellt werden, in der sie dann eingesetzt wird. Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines in der Figur dargestellten Ausführungsbeispiels näher beschrieben. Die Figur zeigt in schematischer Darstellung die Herstellung einer dielektrischen Reflexionsmaske durch Rückseitenablation.

[0011] Auf einem Quarz-Substrat 1 befindet sich eine durchgehende Absorberschicht 2 und auf dieser ein durchgehendes Schichtsystem 3, das aus alternierenden Schichten mit hohem und niedrigem Brechungsindex besteht. Diese Anordnung wird von der Seite des Substrats 1 (Rückseite) aus an den Stellen, welche die durchlässigen Bereiche der Maske bilden sollen, einer Laserstrahlung 4 mit bestimmter Wellenlänge (Ablations-Wellenlänge) ausgesetzt. Das Substrat 1 und das Schichtsystem 3 absorbieren die Laserstrahlung 4 mit der Ablations-Wellenlänge nicht. Hingegen absorbiert die Absorberschicht diese Strahlung sehr stark. Dies bewirkt, daß die Absorberschicht an den Stellen der auftretenden Laserstrahlung 4 zusammen mit den darüberliegenden Bereichen 3' des Schichtsystems 3 ablatiert wird. Die Anordnung erhält damit die gewünschte Maskenstruktur. Da das Substrat 1 und das Schichtsystem 3 die Laserstrahlung mit der Ablations-Wellenlänge nicht absorbieren, kann die Ablations-Wellenlänge gleich der Wellenlänge der Laserstrahlung gewählt werden, für die die Reflexionsmaske im Betrieb verwendet wird. Die Reflexionsmaske wird dieser Strahlung auf der Seite des Schichtsystems (Vorderseite) ganzflächig ausgesetzt.

[0012] Bei einem konkreten Ausführungsbeispiel wurde ein dielektrischer Spiegel mit folgendem Aufbau gewählt: ein Substrat 1 aus Quarzglas, eine Absorberschicht 2 aus ca. 30 nm  $\text{SiO}_x$  und darauf ein HR-Schichtsystem für eine Betriebswellenlänge von 193 nm bestehend aus 42 Schichtpaaren  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ . Dieser Spiegel ließ sich zur Herstellung einer Maske sehr gut strukturieren. Nach einem Impuls der Energiedichte von  $850 \text{ mJ/cm}^2$  bei 193 nm in Rückseitenablation wurde eine Transmission in den ablatierten Bereichen von 81% gemessen, nach 2 Impulsen eine Transmission von 85%. Durch eine weitere Bestrahlung mit einem Laserimpuls von 193 nm konnte die Transmission auf 89% gesteigert werden (die maximal mögliche Transmission eines unbeschichteten Quarzglassubstrats liegt bei 91,5%). Die Zerstörschwelle der hergestellten Maske (Bestrahlung von der Vorderseite) liegt im Bereich der Zerstörschwelle des Spiegels ( $> 1 \text{ J/cm}^2$ ). Somit ist die hergestellte Maske sehr vielseitig anwendbar im Vergleich zu herkömmlichen Masken, die eine wesentlich niedrigere Zerstörschwelle haben (z. B. Chrom auf Quarzglas bei 193 nm:  $80 \text{ mJ/cm}^2$  für sichtbare Schäden).

[0013] Weitere Materialien, die für Laserstrahlung im UV-

Bereich durchlässig und damit als Substrat geeignet sind, sind Magnesiumfluorid, Kalziumfluorid, Bariumfluorid oder Mischfluoride sowie weiterhin Saphir und kristalliner Quarz.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer dielektrischen Reflexionsmaske für die Abbildung von lateralen Strukturen mittels Laserstrahlen mit einer Betriebswellenlänge, bei welchem eine aus einem für Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge transparenten Substrat und einem Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge reflektierenden Schichtsystem bestehende Anordnung einer die Maskenstruktur aufweisende Laserstrahlung von der Substrateite her ausgesetzt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen dem Substrat und dem Schichtsystem vor der Bestrahlung mit der die Maskenstruktur aufweisenden Laserstrahlung eine diese Strahlung absorbierende Schicht (Absorberschicht) angeordnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Absorberschicht vor dem Aufbringen des Schichtsystems auf das Substrat aufgebracht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die die Maskenstruktur aufweisende Laserstrahlung eine Wellenlänge hat, die der Betriebswellenlänge entspricht.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Betriebswellenlänge im UV-Bereich liegt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Betriebswellenlänge 193 nm oder 248 nm beträgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Substrat aus Quarzglas, Saphir, kristallinem Quarz, Magnesiumfluorid, Kalziumfluorid, Bariumfluorid oder Mischfluoriden verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Schichtsystem aus einer Vielzahl von  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ -Schichtpaaren oder von hoch- und niedrigbrechenden Fluoridschichtpaaren oder Kombinationen von diesen besteht.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Absorberschicht aus einem solchen Material besteht und eine solche Dicke aufweist, daß sie durch die die Maskenstruktur aufweisende Laserstrahlung ohne Schädigung des Substrats rückstandsfrei ablatiert wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Absorberschicht aus Hafniumdioxid ( $\text{HfO}_2$ ), Tantalpentoxid ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ), Niobpentoxid ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ), Cerdioxid ( $\text{CeO}_2$ ) oder Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) besteht.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Absorberschicht aus einem solchen Material besteht und eine solche Dicke aufweist, daß sie durch die Maskenstruktur aufweisende Laserstrahlung ohne Schädigung des Substrats nahezu vollständig entfernt wird, wobei ihre Rückstände nachfolgend in ein für die Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge transparentes Material umgewandelt werden.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die nachfolgende Umwandlung ein thermischer oder photochemischer Oxidationsschritt ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß die Umwandlung durch Bestrahlung mit einer Laserstrahlung in einer oxidierenden Atmosphäre erfolgt.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Absorberschicht aus  $\text{SiO}_x$  mit  $x \neq 2$  besteht und das  $\text{SiO}_x$  in  $\text{SiO}_2$  umgewandelt wird.

14. Reflexionsmaske für die Abbildung von lateralen Strukturen mittels Laserstrahlen mit einer Betriebswellenlänge, die ein für Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge transparentes Substrat und ein darauf angeordnetes strukturiertes Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge reflektierendes Schichtsystem aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Substrat und dem Schichtsystem eine strukturierte Laserstrahlen mit der Betriebswellenlänge absorbierende Schicht angeordnet ist.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

